

## BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

09/890394

PRIORITY  
DOCUMENTSUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 02 FEB 2000	
WIPO	PCT

EP 99/9845  
ESU

## Bescheinigung

Die Deutsche Telekom AG in Bonn/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Sensor und Verfahren zur Erfassung von Abstandsänderungen"

am 29. Januar 1999 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol G 01 B 11/14 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 5. Oktober 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Aktenzeichen: 199 03 447.8

Joost

Sensor und Verfahren zur Erfassung von Abstandsänderungen

## 5   Technisches Gebiet:

Die Erfindung betrifft einen Sensor sowie ein Verfahren zur Erfassung von Abstandsänderungen zwischen einem ersten und einem zweiten Ort auf optischer Grundlage.

## 10   Stand der Technik:

Zur Längenänderungsmessungen zwischen beweglichen Objekten sind eine Vielzahl von Methoden bekannt. Es sind beispielsweise Sensoren auf der Grundlage elektrischer Methoden bekannt, wie z. B. Dehnungsmeßstreifen. Es werden elektrische Kapazitätsänderungen sowie Änderungen des magnetischen Flusses bei kleinen Längenänderungen ausgenutzt. Optische Methoden zur Bestimmung von Längenänderungen haben den Vorteil, daß zwischen den Punkten, deren Abstandsänderung gemessen werden soll, keine elektrisch leitende Verbindung bestehen muß. Üblich sind Interferometer für kleine und mittlere Entfernungen von etwa 20   1 µm bis 1 m, Moiréanordnungen sowie Laufzeitmessungen an Lichtimpulsen. Interferometeranordnungen sind zwar sehr genau, haben aber den Nachteil, daß sie mechanisch äußerst empfindlich und nur mit hohem Justieraufwand zu betreiben sind. Daher müssen sie im wesentlichen schwingungsfrei 25   aufgestellt werden, weshalb sie insbesondere zur Erfassung von Abstandsänderungen bewegter Objekte nicht einfach einsetzbar sind. Moiréanordnungen sind ebenfalls genau, sind aber im Meßbereich oberhalb von einigen Zentimetern nur sehr 30   kostenaufwendig zu realisieren; Laufzeitmessungen an optischen Impulsen bzw. Messungen von Frequenzverschiebungen durch den Dopplereffekt sind nur für größere Entfernungen genau und erfordern eine aufwendige Meßelektronik.

35

## Technische Aufgabe:

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Sensor zur Erfassung von Abstandsänderungen zur Verfügung zu

stellen, welcher technisch einfach und kostengünstig zu realisieren ist, keine besondere mechanische Stabilität erfordert und zur genauen Bestimmung von kleinen Positionsänderungen einsetzbar ist. Des weiteren soll ein  
5 Verfahren zur Erfassung von Abstandsänderungen angegeben werden, welches einfach durchführbar ist.

#### Offenbarung der Erfindung:

Die Aufgabe wird gelöst durch einen Sensor zur Erfassung von  
10 Abstandsänderungen zwischen einem ersten und einem zweiten Ort mit wenigstens einer im wesentlichen schraubenförmig gewendelten Lichtleitfaser, welche mit wenigstens einem der Orte mechanisch verbindbar ist, einem Lichtsender und einer Erfassungseinrichtung für optische Signale. Dabei ist die Erfassungseinrichtung ein Ausgangssignal abzugeben imstande, welches vom Polarisationszustand des über die Lichtleitfaser übertragenen optischen Signals abhängt.

Verfahrensmäßig besteht die Lösung der Aufgabe bei einem  
20 Verfahren zur Erfassung von Abstandsänderungen zwischen einem ersten und einem zweiten Ort mit folgenden Merkmalen:  
a) mechanisches Koppeln wenigstens eines Ortes mit einer im wesentlichen schraubenförmig gewendelten Lichtleitfaser;  
b) Einkoppeln eines optischen Signals mit bekanntem  
25 Polarisationszustand in die Lichtleitfaser,  
c) Erfassen des über die Verbindungsleitung übertragenen optischen Signals derart, daß Informationen über dessen Polarisationszustand gewonnen werden;  
d) Ermitteln der Abstandsänderung aus den Informationen über  
30 den Polarisationszustand des übertragenen Signals.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Sensors und des Verfahrens sind in den Unteransprüchen 2 bis 9 bzw. 11 bis 16 gekennzeichnet.

35

Die Erfindung beruht auf dem Prinzip der Polarisationsänderung von Licht in helixförmig gewundenen optischen Fasern bei Änderung der Helixparameter. Die

Polarisation des Lichtes am Ausgang einer einfachen schraubenförmig gewendelten optischen Glasfaserleitung ist empfindlich gegenüber Bewegung, besonders gegenüber ziehharmonikaähnlichen Bewegungen der Faser. Diese

5 Abhängigkeit der Polarisation von der Form der Raumkurve der Faser kann direkt zur Messung der Form, z. B. der Länge der Ziehharmonika der Faserwindungen benutzt werden. Damit kann der Abstand zweier beliebiger Orte bestimmt werden, indem sie durch eine solche bewegliche schraubenförmig gewundene  
10 elastische Glasfaserstrecke verbunden werden.

Die Hauptursache für die Formabhängigkeit des Polarisationszustandes am Ausgang einer Glasfaser ist die starke Abhängigkeit der optischen Aktivität der Faser von der genauen Form ihrer Schraubenwindungen. Dieser Effekt ist in erster Näherung achromatisch und verursacht keine Polarisationsmodendispersion. Er wird durch eine der sogenannten optischen Berry-Phasen, die Spinredirektionsphase, verursacht. Es handelt sich bei  
20 dieser Berry-Phase oder geometrischen Phase um einen Phaseneffekt, der durch die Struktur der Raumkurve der Faser verursacht wird und nicht durch eine optische Weglängendifferenz wie bei der normalen dynamischen Phase des Lichtes. Dennoch führen geometrische Phasen zu denselben  
25 Interferenzeffekten des Lichtes wie normale dynamische Phasen.

Die Größe der Spinredirektionsphase in einer schraubenförmig gewundenen Faser ist gleich dem Raumwinkel  $\Omega$ , den der k-  
30 Vektor (k entspricht der Ausbreitungskonstanten  $\beta$  in der technischen Literatur) auf der Kugel der Orientierungen der Lichtausbreitung im Gegenuhrzeigersinn umläuft, wenn das Licht in der Faser durch eine Schraubenwindung geführt wird.

35 Wesentlich ist daher, daß Licht mit einem definierten Polarisationszustand in die gewendelte Lichtleitfaser eingekoppelt wird und das übertragene optische Signal in einer Weise detektiert wird, daß Rückschlüsse auf seinen

Polarisationszustand bzw. einzelne Polarisationskomponenten nach Durchlaufen der Lichtleitfaser möglich sind. Aus der Änderung der Parameter des optischen Signals vor und nach der Übertragung oder durch Vergleich mit einer Referenz aus einer Eichmessung oder einer parallel durchgeführten Referenzmessung läßt sich auf die Form bzw. Formänderung der gewendelten Lichtleitfaser und damit auch auf Abstandsänderungen von mit dieser verbundenen Orten rückschließen.

10

Beispielsweise kann polarisiertes Licht in die Faser eingekoppelt und dessen Polarisationszustand oder die Stärke einer bestimmten Polarisationskomponente nach Durchlaufen der Lichtleitfaser mit einem Polarimeter oder einem Detektor mit vorgeschaltetem Analysator gemessen werden. Aus der Kenntnis der Polarisationen bzw. einzelner Polarisationskomponenten vor und nach der Übertragung kann auf die formbedingte Polarisationsänderung und damit auf die Formänderung der Wendel geschlossen werden.

20

Wird das Übertragungssignal mit einer Referenz verglichen, so ist eine genaue Kenntnis des Polarisationszustandes vor der Übertragung nicht unbedingt notwendig. Es reicht, daß stets eine definierte Ausgangssituation vorliegt. Die

25

Referenz ist beispielsweise eine Serie von Meßwerten, die während einer Eichmessung mit der Lichtleitfaser gewonnen wurden und das Ausgangssignal bei bestimmten Abständen des ersten und zweiten Ortes angeben. Alternativ kann ein

30

Referenzsignal auch während der Messung erzeugt werden, indem eine Referenzstrecke, die vorzugsweise der gewendelten Lichtleitfaser nachgebildet ist, ebenfalls mit einem definierten optischen Signal beaufschlagt wird und beide Übertragungssignale miteinander verglichen werden. Dazu werden sie entweder getrennt ausgewertet und beide

35

Intensitäten miteinander verglichen. Das eigentliche Übertragungssignal kann aber auch mit dem Referenz-Übertragungssignal zur Interferenz gebracht und anschließend

in einer gemeinsamen Erfassungseinrichtung detektiert werden.

Die Vorteile der Erfindung sind die nahezu universelle  
5 Einsetzbarkeit, die keine spiegelnden Flächen oder eine besondere mechanische Stabilität des Systems erforderlich macht. Die Einkopplung des optischen Signals in die Faser sollte zwar mechanisch stabil sein, sie kann jedoch auch separat vom zu messenden System aufgebaut werden. Des  
10 weiteren läßt sich der Sensor ohne großen technischen Aufwand aus einzelnen, preisgünstigen Komponenten aufbauen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen, wobei zeigen:

Figur 1 Einen erfindungsgemäßen Sensor mit einer  
wendelförmigen Lichtleitfaser;

Figur 2 einen Ausschnitt aus einer wendelförmigen  
Lichtleitfaser;

Figur 3 einen erfindungsgemäßen Sensor zur Erfassung von  
Längenänderungen eines Teleskoparms.

20 Wege zur Ausführung der Erfindung:

Figur 1A zeigt im unteren Teil einen erfindungsgemäßen Sensor mit einer wendelförmigen Lichtleitfaser 1. Die Lichtleitfaser weist hier einen festen Windungssinn auf.

25 Allgemein reicht es aus, wenn ein Windungssinn bei einer beliebig gebogenen Faser überwiegt.

Die Lichtleitfaser weist des weiteren eine Ummantelung auf, die die Faser in ihrer wendelförmig gebogenen Form hält und  
30 Bewegungen, insbesondere solchen entlang der Längsachse der Wendel, elastisch zu folgen imstande ist. Dazu kann die Wendel auch als solche in ein elastisches Trägermaterial eingebettet sein, beispielsweise in einen elastischen Zylinder oder dergleichen.

35 Der Sensor umfaßt des weiteren eine Lichtquelle 3, die vorzugsweise ein Laser ist. Von der Lichtquelle 3 kommendes, linear polarisiertes Licht wird in die Faserwendel 1

eingekoppelt. Falls die Lichtquelle nicht vollständig polarisiertes Licht abstrahlt, ist zur Herstellung des definierten Polarisationszustandes ein Polarisator P am Eingang der Faser angeordnet. Am Ausgang der Faserwendel wird der Polarisationszustand des übertragenen optischen Signals mit Hilfe eines Polarimeters 2 gemessen. Alternativ kann auch ein einfacher Detektor mit einem vorgeschalteten Analysator eingesetzt werden, mit welchem die Intensität einer definierten Polarisationskomponente erfaßt werden kann.

Figur 1B zeigt schematisch eine Polarisationsellipse zur Darstellung des Polarisationszustandes des Lichts nach Durchlaufen der Übertragungsstrecke. Mit x und y sind die Schwingungsrichtungen des elektrischen Feldvektors bezeichnet. Der Feldvektor beschreibt im allgemeinsten Fall eine Ellipse mit den Hauptachsen a und b, die um den Winkel  $\phi$  gegenüber den Achsen x und y gedreht ist.

Erfindungsgemäß wird ausgenutzt, daß der Orientierungswinkel  $\phi$  der Polarisationsellipse im Ausgang der Faserstrecke proportional zu der in der Wendel zwischen der rechts- und der linkszirkularen Komponente des eingekoppelten linear polarisierten Lichtes eingefügten sog. geometrischen Phase ist. Da sich die geometrische Phase mit der Form der Wendel ändert, ist der Orientierungswinkel  $\phi$  ein Maß für die Form der Wendel. Auf diese Weise kann z. B. der Abstand d zwischen zwei Punkten A1 und A2 auf der Wendel gemessen werden, und damit auch der Abstand bzw. die Abstandsänderung zweier mit den Punkten A1 und A2 starr verbundener Orte.

In den nachfolgend beschriebenen, anhand Figur 2 erläuterten Sonderfällen läßt sich die geometrische Spinredirektionsphase und damit die Form der Wendel besonders einfach bestimmen. Jede volle Windung der Glasfaser auf einem Zylinder Z vom Radius r mit der Steigung  $St$ , für die der Steigungswinkel  $\Theta$  am Anfang A und am Ende E der Windung gleich ist, erzeugt eine Drehung  $\phi$  des

eingekoppelten linearpolarisierten Lichtes. Der Drehwinkel  $\varphi$  ist gegeben durch

$$(1) \quad \varphi = \int_0^{2\pi} [1 - \cos\Theta(\phi)] d\phi$$

5

Dabei ist  $\phi$  der azimutale Winkel des Zylinders Z, siehe Fig. 2. Für den Fall einer gleichmäßig gewickelten Schraubenlinie ist  $\Theta$  eine Konstante, und man erhält:

$$10 \quad (2) \quad \varphi(\Theta = \text{konst.}) = 2\pi(1 - \cos\Theta) \text{ und } \cos\Theta = \frac{St}{L}$$

Koppelt man also bei A linear polarisiertes Licht unter dem Winkel  $\alpha$  in die Helix ein, so hat es am Ende E eine um den Winkel  $\varphi$  gedrehte Polarisation also  $\alpha \pm \varphi$ . Von der Helizität der Schraube hängt das Vorzeichen des Drehwinkels  $\varphi$  ab. L ist die Länge der Faserhelix. Ändert sich nun die Steigung St der Helix, so ändert sich der Steigungswinkel  $\Theta$  und damit die Polarisationsrichtung am Faserende E. Bringt man am Ende E einen linearen Analysator an und läßt das Licht dann auf  
 15  
 20 einen Detektor fallen, so registriert dieser eine Intensität I

$$(3) \quad I = I_0 \cos^2 [\gamma - (\alpha \pm \varphi)]$$

wenn  $\gamma$  der Orientierungswinkel des Analysators ist und  $I_0$  die aus der Faser austretende Intensität des linear polarisierten Lichtes. Hier ist angenommen, daß verlustfreie Verhältnisse herrschen und das Licht in der Faser ideal linear polarisiert bleibt.

30

Für alle anderen Fälle hängt I ebenfalls vom Steigungswinkel  $\Theta$  und damit vom Abstand der Punkte AE ab, dies allerdings in komplizierterer Weise. Der Zusammenhang wird vorzugsweise durch Eichung oder durch Messung der  
 35 Parameter von Gleichung (1) sowie der verschiedenen Verluste ermittelt. Man erhält am Detektor ein Signal, das von dem zu

messenden Abstand  $St$  abhängt und durch die Parameter  $r$ ,  $\gamma$  und  $\alpha$  in einen geeigneten Meßbereich gebracht werden kann.

Es ist nicht notwendig, nur eine einzige Windung der Faser als Abstandsindikator zu verwenden. Viele Windungen wie in Fig. 1 sowie nicht ganze Zahlen von Windungen sind ebenfalls möglich. Die Berechnung des Drehwinkels  $\phi$  ist im Falle einer ganzzahligen Windungszahl  $N$  zwischen A und E und bei gleichen Steigungswinkeln bei A und E nach Gleichung (1) möglich, wobei die obere Integrationsgrenze auf  $2\pi N$  zu erweitern ist. Für nicht ganze Windungszahlen  $N$  und ungleichmäßige Windungen ist eine Eichung vorteilhafter als die Berechnung, die nicht mehr nach der einfachen Gleichung (1) erfolgen kann.

Zur Herstellung einer gleichmäßigen Windungsform mit konstanten Steigungswinkeln werden an den Punkten A und E am Anfang und Ende der Windung Achsen angebracht, um die sich die Faser bezüglich des Winkels  $\Theta$  frei drehen kann. Diese Achsen stehen senkrecht auf der Zylinderachse der Windung. Die Faser ist auf einen elastischen Träger aufgebracht, der bei A und E ein Lager hat, so daß er sich um die Achsen drehen kann. Da sich in diesem Fall die gleichmäßige Helix automatisch als geodätische Kurve zwischen den Punkten A und E auf dem Zylinder einstellt, kann Gleichung (3) bei allen Steigungen  $St$  der Helix angewandt werden, für deren Ausbildung die Gesamtlänge der Faser ausreicht.

Im allgemeinen erhält eine optische Faser die (lineare) Polarisation nicht, d.h. beim Austritt aus der Faser ist das Licht nicht mehr so polarisiert, wie es ursprünglich beim Eintritt in die Faser war. Dieser Effekt wird einerseits durch Abweichungen des Faserkerns von der Kreissymmetrie, andererseits von der induzierten Doppelbrechung erzeugt, die durch Biegung der Faser entsteht. In sogenannten doppelbrechungsarmen Fasern, die auch eine niedrige Polarisationsmodendispersion haben, wird z. B. durch schnelle Drehung der Vorform beim Ziehen der Faser eine

Orientierungsverteilung der Unsymmetrie des Faserkerns über alle Raumrichtungen erreicht. Solche Fasern sind daher besonders zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Längensensors geeignet.

5

Der Biegungsradius der Faser sollte nicht zu klein sein, um Spannungsdoppelbrechung in der gebogenen Faser zu vermeiden. Eine Abschätzung der Doppelbrechung in gebogenen Fasern wird in L. Jeunhomme, Single-Mode Fiber Optics, N.Y. 1983, S. 60  
10 gegeben. Ideal ist es, wenn die gewundene Faserhelix eine Phasenverzögerung von weniger als  $\lambda/10$  hat, wobei  $\lambda$  die Betriebswellenlänge ist. Andererseits stören auch höhere Werte der Spannungsdoppelbrechung das Meßprinzip nicht wesentlich, da auch bei elliptisch polarisiertem Licht im  
15 Ausgang der Faser durch die Helixdeformation Änderungen des Orientierungswinkels  $\phi$ , entstehen, die als Maß für die Längenänderung genommen werden können. Große Biegeradien der Faser können sowohl durch Vergrößerung des Helixradius als auch durch Vergrößerung der Helixsteigung erreicht werden.

20

Eine Eichung des Sensors schließt auch Intensitätsänderungen am Detektor am Ende der Faser ein, die durch Biegung der Faser bei der Änderung des Abstandes AE erfolgen. Eine Längenmessung durch Vergleich der aktuell gemessenen Werte  
25 mit in einer Eichmessung ermittelten Werten ist für den praktischen Einsatz des Sensors vorteilhaft, da dabei sämtliche, nicht durch die Längenänderung des der gewundenen Lichtleitfaser hervorgerufenen Einflüsse auf den Polarisationszustand des Lichts eliminiert werden können.

30

In Figur 3 ist eine praktische Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Ein elastischer Faserträger D, z. B. ein Stahl, Bronze- oder Kunststoffdraht, wird mit zwei Halterungen HA, HE versehen, die auf die Achsen bei A und E aufgesteckt  
35 werden können, so daß sie sich frei drehen lassen. Die Achsen an den Punkten A, E sind im beschriebenen Beispiel mit zwei Röhren eines Teleskoparms verbunden, dessen Längenänderung gemessen werden soll. Im dargestellten

Beispiel wird eine schraubenförmige Lichtleitfaser mit einer einzigen Windung verwendet, die in den Faserträger D eingebettet ist.

- 5 Vor dem Halter HA ist eine Lichtquelle LQ angeordnet, die auch mechanisch mit dem Halter HA verbunden sein kann, so daß stabile Einkopplungsbedingungen vorliegen. Die Lichtquelle LQ, die vorzugsweise linear polarisiertes Licht erzeugt, ist z. B. eine Leuchtdiode oder ein
- 10 Halbleiterlaser. Über eine Linse L1 wird das Licht in die optische Faser einkoppelt, deren Eingang sich am Halter HA befindet. Die Faser ist auf oder in dem elastischen Faserträger D befestigt. Falls die Lichtquelle unpolarisiertes Licht ausstrahlt, muß auch noch der lineare
- 15 Polarisator PA zwischen Lichtquelle und Faseranfang angebracht werden.

- Am Ende E der Windung befindet sich der Halter HE, an dem eine Linse L2 und der feste oder drehbare lineare Analysator
- 20 PE befestigt ist. Die Linse bildet Licht aus der Faser auf den Detektor DE ab. Lichtquelle LQ und Detektor DE sind durch leicht bewegliche elektrische Zuleitungen mit den entsprechenden Netz- und Registriergeräten N bzw. R verbunden. Um Störeinflüsse zu verringern, sind Lichtquelle,
- 25 Detektor und Glasfaser lichtdicht gegen die Außenwelt abgedunkelt.

#### Gewerbliche Anwendbarkeit:

- Die Erfindung läßt sich zur genauen Erfassung von Längen-
- 30 und Abstandsänderungen in einer Vielzahl von Systemen, z.B. von Roboterarmen, vorteilhaft gewerblich einsetzen.

Patentansprüche

1. Sensor zur Erfassung von Abstandsänderungen zwischen einem ersten und einem zweiten Ort mit wenigstens einer im wesentlichen schraubenförmig gewendelten Lichtleitfaser, welche mit wenigstens einem der Orte mechanisch verbindbar ist, einem Lichtsender und einer Erfassungseinrichtung für optische Signale, wobei die Erfassungseinrichtung ein Ausgangssignal abzugeben imstande ist, welches vom Polarisationszustand des über die Lichtleitfaser übertragenen optischen Signals abhängt.

2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Erfassungseinrichtung ein Polarimeter oder ein Detektor mit vorgeschaltetem Analysator ist.

3. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtleitfaser in Schraubenrichtung flexibel ist und Abstandsänderungen zwischen dem ersten und dem zweiten Ort zu folgen imstande ist.

4. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtleitfaser mit einem elastischen Trägermaterial verbunden ist, welches bei mechanischer Belastung der Lichtleitfaser eine Formveränderung ermöglicht und die Lichtleitfaser bei Nichtbelastung in ihrer gebogenen Ausgangsform hält.

5. Sensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtleitfaser um wenigstens ein längliches Trägerelement, vorzugsweise einen Zylinder, gewunden ist, wobei das Trägerelement vorzugsweise flexibel ist.

6. Sensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

daß die Lichtleitfaser am Trägerelement derart befestigt ist, daß sie in ihrer gewundenen Form beweglich, aber auf dem Trägerelement stabilisiert bleibt.

- 5 7. Sensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Lichtleitfaser ein Windungssinn überwiegt, die Lichtleitfaser vorzugsweise nur einen Windungssinn aufweist.
- 10 8. Sensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle linear polarisiertes Licht erzeugt und/oder am Eingang der Lichtleitfaser ein Linearpolarisator angeordnet ist.
9. Sensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Referenz-Lichtleitfaserstrecke vorgesehen ist, welche der Lichtleitfaser nachgebildet ist und über die ein  
20 zweites optisches Signal übertragen wird, wobei die über beide Strecken übertragenen optischen Signale in einer gemeinsamen oder in getrennten Erfassungseinrichtungen derart erfaßt werden, daß Unterschiede im Polarisationszustand ermittelbar sind.
- 25 10. Verfahren zur Erfassung von Abstandsänderungen zwischen einem ersten und einem zweiten Ort mit folgenden Merkmalen:  
a) mechanisches Koppeln wenigstens eines der Orte mit einer im wesentlichen schraubenförmig gewendelten Lichtleitfaser;  
30 b) Einkoppeln eines optischen Signals mit bekanntem Polarisationszustand in die Lichtleitfaser,  
c) Erfassen des über die Verbindungsleitung übertragenen optischen Signals derart, daß Informationen über dessen Polarisationszustand gewonnen werden;  
35 d) Ermitteln der Abstandsänderung aus den Informationen über den Polarisationszustand des übertragenen Signals.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,

daß die Abstandsänderung durch Vergleich des detektierten Signals bzw. einzelner Parameter des detektierten Signals mit in einer Eichmessung bestimmten Werten, die einem bestimmten Abstand entsprechen, ermittelt wird.

5

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstandsänderung aus dem detektierten Signal bzw. einzelner Parameter des detektierten Signals und der Form der Raumkurve der Lichtleitfaser berechnet wird.

10

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisationszustand des optischen Signals nach der Übertragung mit dem vor der Übertragung und/oder mit einem Referenz-Polarisationszustand verglichen wird.

20

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Referenz-Polarisationszustand der nach Durchlaufen der im mechanischen Ruhezustand vorliegenden Verbindungsstrecke gemessene Polarisationszustand des optischen Signals ist.

25

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Signal gemeinsam mit einem Referenzsignal detektiert wird.

30

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß linear polarisiertes Licht in die Lichtleitfaser eingekoppelt wird und Licht mit einer definierten linearen Polarisation detektiert wird.

## Zusammenfassung:

Sensor und Verfahren zur Erfassung von Abstandsänderungen

5

Die Erfindung betrifft einen Sensor zur Erfassung von Abstandsänderungen zwischen einem ersten und einem zweiten Ort mit wenigstens einer im wesentlichen schraubenförmig gewendelten Lichtleitfaser, welche mit wenigstens einem der

10 Orte mechanisch verbindbar ist, einem Lichtsender und einer Erfassungseinrichtung für optische Signale, wobei die Erfassungseinrichtung ein Ausgangssignal abzugeben imstande ist, welches vom Polarisationszustand des über die Lichtleitfaser übertragenen optischen Signals abhängt. Die Erfindung betrifft des weiteren ein Verfahren zur Erfassung von Abstandsänderungen zwischen einem ersten und einem zweiten Ort mit folgenden Merkmalen: Wenigstens einer der Orte wird mechanisch mit einer im wesentlichen schraubenförmig gewendelten Lichtleitfaser gekoppelt; in die

20 Lichtleitfaser wird ein optisches Signal mit bekanntem Polarisationszustand eingekoppelt; dieses wird nach der Übertragung über die Verbindungsleitung derart erfaßt, daß Informationen über seinen Polarisationszustand gewonnen werden; aus diesen Informationen wird die Abstandsänderung

25 ermittelt.

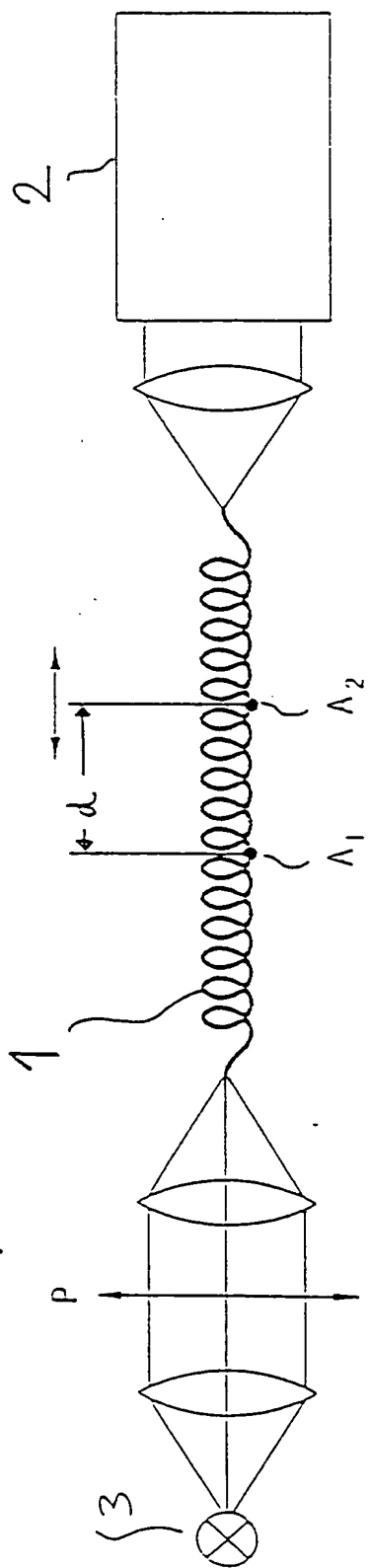


FIG. 1A

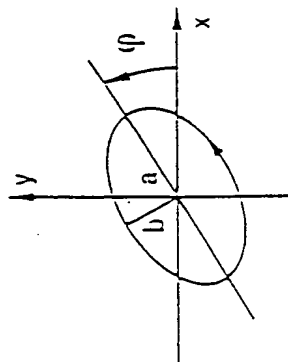


FIG. 1B

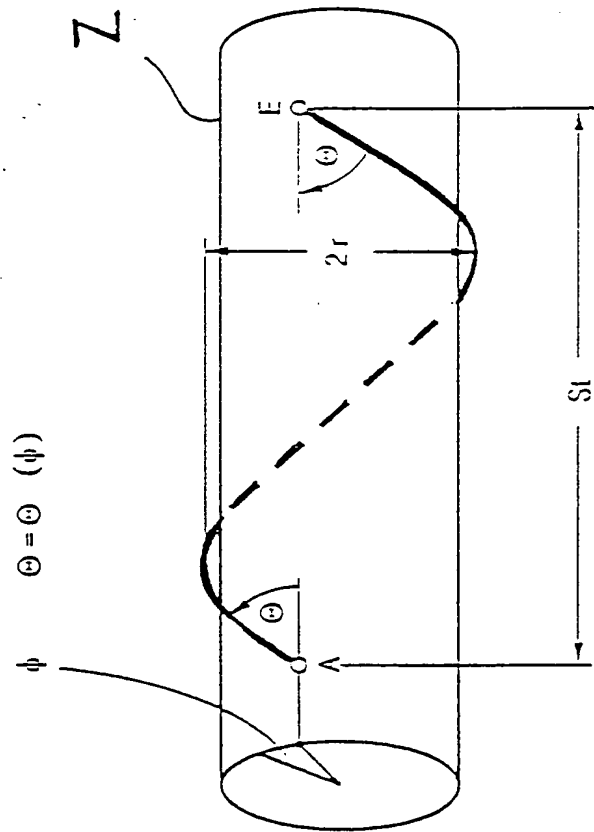


Fig. 2

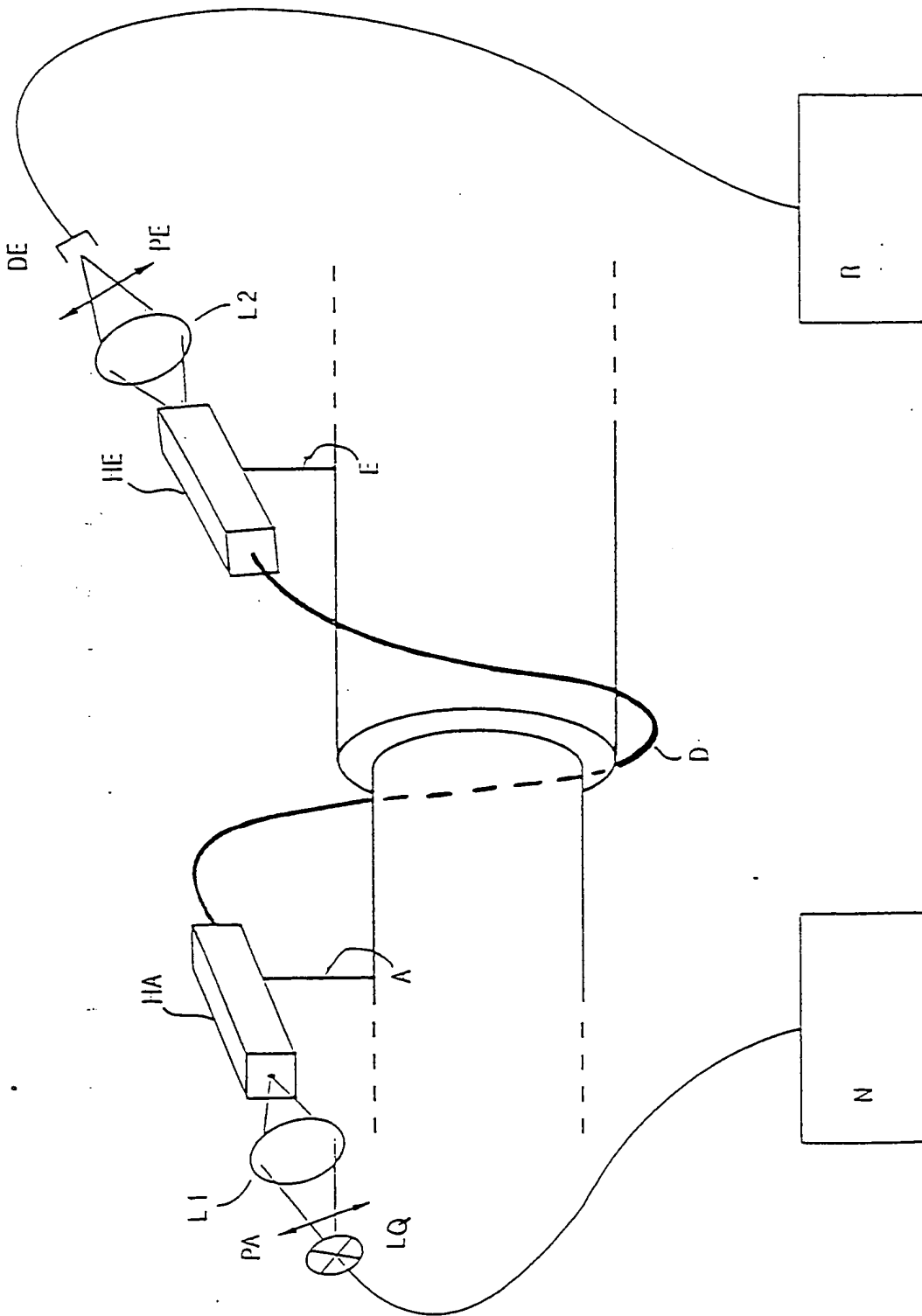


FIG. 3